บทที่ 4

ผล และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามที่ได้ทำการศึกษาไว้ ส่วนแรกคือเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction) ของทรายหยาบที่มีความหนาแน่นต่างกัน ส่วนที่ 2 เป็นศึกษาการความสัมพันธ์ของมุมเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส (Angle of interface friction) ของทรายหยาบกับวัสดุจีโอซินเทติกส์ที่ความหนาแน่นต่างกันโดยทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงเฉือนโดยตรงที่ได้พัฒนาขึ้น ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุจีโอซินเทติกส์ด้วยกันเอง และส่วนสุดท้าย เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของมุมเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุจีโอเทคไทล์ที่มีความหนาของวัสดุทดสอบต่างกันกับทรายหยาบ และวัสดุจีโอเทคไทล์ที่มีความหนาของวัสดุทดสอบต่างกันกับวัสดุจีโอซินเทติกส์ที่มีความหนาต่างๆ ผลของการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของตัวอย่างทรายหยาบที่นำมาทดสอบ

4.1.1. ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง (Oven dry)	2.53
4.1.2. ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry)	2.56
4.1.3. ความถ่วงจำเพาะแท้จริง (Apparent specific gravity)	2.60
4.1.4. ปริมาณความชื้นของทราย (Water content)	0.1-0.3 %
4.1.5. Unified Soil Classification ได้ผลการทดสอบเป็น	SP

4.2 ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานภายในของทรายหยาบ

ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานภายในของทรายหยาบด้วยเครื่องทดสอบแรงเฉือนโดยตรงแบบธรรมดาโดยใช้ขนาดกล่องทดสอบแรงเฉือน (Shear Box) ขนาด 5X5 เซนติเมตร ทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 (Dr=20.4%) และ 1.8 t/m^3 (Dr=88.9%) ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ดังนี้

- ทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 (Dr=20.4%)

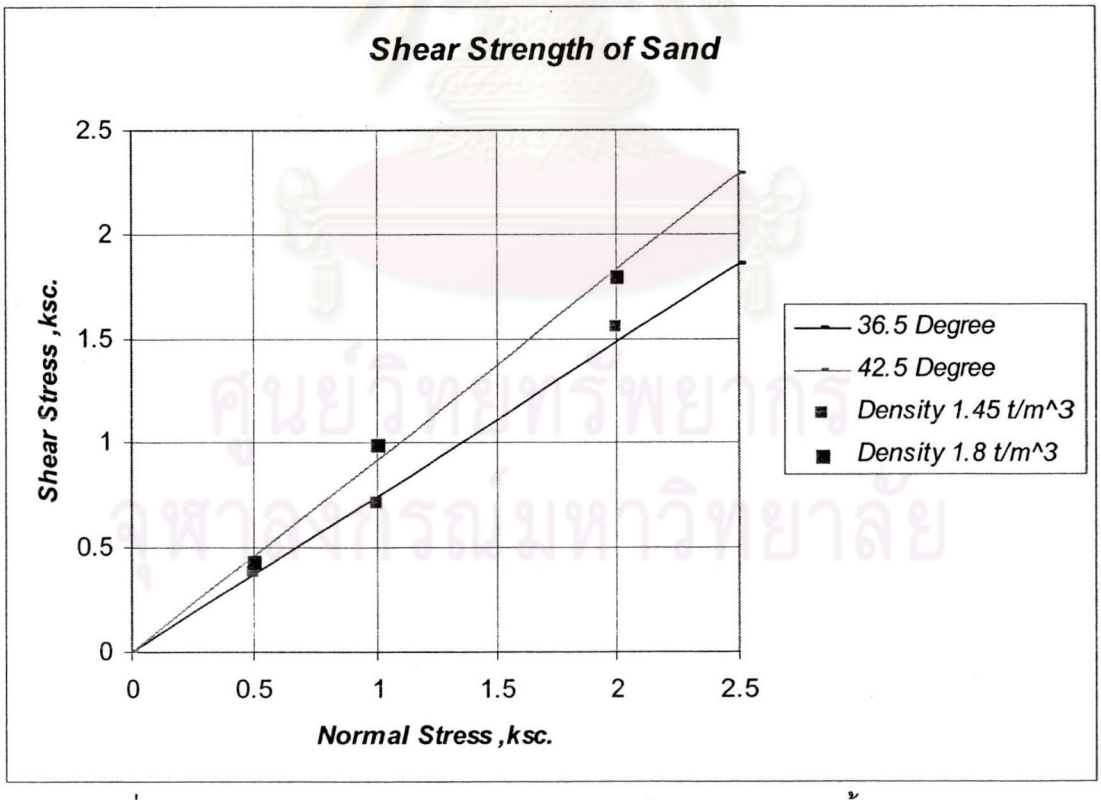
$$\tau_f = \sigma \tan 36.5^\circ \qquad (4.1)$$

- ทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.8 t/m^3 (Dr=88.9%)

$$\tau_f = \sigma \tan 42.5^\circ \qquad (4.2)$$

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยแรงกดตั้งฉากกับหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 และ 1.8 t/m^3

Normal Stress (ksc.)	Maximum Shear Stress (ksc.)	
	Density 1.45t/m^3(Dr=20.4%)	Density 1.8 t/m^3(Dr=88.9%)
0.5	0.39	0.444
1	0.71	0.99
2	1.55	1.79



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงตั้งฉากของทรายหยาบที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 และ 1.8 t/m^3

จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ที่ได้จากการทดสอบพบว่า ค่ามุมเสียดทานภายในของทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 มีค่าเท่ากับ 36.5 องศา และค่ามุมเสียดทานภายในของทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.8 t/m^3 มีค่าเท่ากับ 42.5 องศา ซึ่งผลการทดสอบทรายหยาบที่ระดับหน่วยแรงตั้งฉากเดียวกันค่าหน่วยแรงเฉือนของที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 จะมีค่ามากกว่าทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.8 t/m^3 เนื่องจากทรายหยาบที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีการเรียงตัวของเม็ดทรายที่หนาแน่นมากกว่าจึงทำให้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมากกว่า โดยในการทดสอบจะนำค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างทรายหยาบกับวัสดุจีโอซินเทติกส์

4.3 ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานระหว่างทรายหยาบที่ความหนาแน่นต่างกันกับวัสดุจีโอซินเทติกส์

ผลการทดสอบค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของทรายหยาบกับวัสดุจีโอซินเทติกส์ด้วยเครื่องทดสอบแรงเฉือนโดยตรงที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้ขนาดกล่องทดสอบแรงเฉือนขนาด 10X10 เซนติเมตรกับทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 และ 1.8 t/m^3 ผลการทดสอบ และค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสในการทดสอบวัสดุดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยแรงกดตั้งฉากกับหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของทรายหยาบที่ความหนาแน่น 1.45 t/m^3 และ 1.8 t/m^3

Test	Normal Stress (ksc.)	Maximum Shear Stress (ksc.)	
		Sand 1.45 t/m^3	Sand 1.8 t/m^3
Geotextile :TS 50	0.5	0.28	0.30
	1	0.55	0.60
	2	1.11	1.21
Geomembrane : 1.5 mm.	0.5	0.27	0.29
	1	0.54	0.58
	2	1.07	1.16
Geonet :DN 400E	0.5	0.25	0.29
	1	0.52	0.58
	2	1.03	1.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างทรายหยาบที่ความหนาแน่นแตกต่างกันกับวัสดุจีโอซินเทติกส์

Type	Sand 1.45 t/m^3(Dr=20.4%)	Sand 1.8 t/m^3(Dr=88.9%)
Geotextile :TS 50	28.9^o	31.4^o
Geomembrane : 1.5mm.	28.4^o	30.2^o
Geonet :DN 400E	27.3^o	29.4^o

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนกับค่าหน่วยแรงตั้งฉากที่สภาวะต่างๆ และค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3 และ 1.8 t/m^3 กับวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS50) จีโอเมมเบรน (1.5mm.) และจีโอเนท (DN 400E) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. กรณีทดสอบกับวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 28.9^o และ 31.4^o กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.28 ,0.55 และ 1.11 ksc. สำหรับวัสดุจีโอเทคไทลล์กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 2 มม. และมีค่า 0.30,0.60 และ 1.21 ksc. สำหรับวัสดุจีโอเทคไทลล์กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.80 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.7 มม. ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูป 4.5 และ 4.6
2. กรณีทดสอบกับวัสดุจีโอเมมเบรน 1.5 มม. จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 28.4^o และ 30.2^o กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.27, 0.54 และ 1.07 ksc. สำหรับวัสดุจีโอเมมเบรน 1.5 มม. กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 1.5 มม. และมีค่า 0.29, 0.58 และ 1.16 ksc. สำหรับวัสดุจีโอเมมเบรน 1.5 มม. กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.80 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.6-0.7 มม. ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูป 4.7 และ 4.8
3. กรณีทดสอบกับวัสดุจีโอเนท (DN 400E) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 27.3^o และ 29.4^o กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1,2 ksc. เท่ากับ 0.25 , 0.52 และ 1.03

ksc. สำหรับวัสดุจีโอเนท กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 2.1-2.2 มม. และมีค่า 0.285 , 0.575 และ 1.163 ksc. สำหรับวัสดุจีโอเนท กับทรายหยาบความหนาแน่น 1.80 t/m^3 โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.6-0.8 มม. โดยสามารถพิจารณาได้จากรูป 4.9 และ 4.10

จากการพิจารณาค่าผลต่างของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าค่าผลต่างของมุมเสียดทานที่เปลี่ยนแปลงไปของการทดสอบทรายหยาบกับวัสดุจีโอเทคไทลล์ วัสดุจีโอเมมเบรน และวัสดุจีโอเนทได้เท่ากับ 2.45 ^{o}, 1.81 ^{o} และ 2.03 ^{o} ตามลำดับจะพบว่า เมื่อพิจารณาผิวสัมผัสระหว่างทรายหยาบกับวัสดุจีโอเทคไทลล์ที่มีลักษณะผิวหยาบและมีลักษณะเป็นขุยซึ่งทำให้มุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีมากกว่าวัสดุจีโอเมมเบรน และวัสดุจีโอเนทที่มีลักษณะเป็นผิวเรียบ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3 กับวัสดุจีโอซินเทติกส์ทั้ง 3 ชนิดจะพบว่าค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่าค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสในกรณีทดสอบที่ทรายความหนาแน่น 1.8 t/m^3 ในทุก ๆ ชนิดการทดสอบ เนื่องจากทรายหยาบที่ถูกบดอัดแน่นมากกว่ามีการเรียงตัวของเม็ดทรายที่ผิวสัมผัสละเอียดมากกว่าทรายหยาบที่มีความหนาแน่นในการทดสอบน้อยกว่า

ผลจากการทดสอบที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 จะพบว่าในการทดสอบระหว่างทรายหยาบที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะแสดงค่ากำลังเฉือนสูงสุดส่วนทรายหยาบที่บดอัดแน่นน้อยกว่าจะไม่แสดงค่ากำลังเฉือนสูงสุดแต่ค่ากำลังเฉือนคงค้างที่ได้จากการทดสอบทรายหยาบทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าค่าแทนเจนท์อัตราส่วนมุมเสียดทานของทรายหยาบทั้ง 2 ความหนาแน่นกับวัสดุจีโอซินเทติกส์แสดงถึง ค่าแทนเจนท์มุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีค่าลดลงจากค่ามุมเสียดทานภายในใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ประมาณ 62-75 เปอร์เซ็นต์ของค่ามุมเสียดทานภายในของทรายหยาบในกรณีปกติ

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแทนเจนท์อัตราส่วนของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของทราย ($\tan\delta/\tan\phi$)

Ratio of $\tan\delta/\tan\phi$	Sand 1.45 t/m^3 (Dr=20.4%)	Sand 1.8 t/m^3 (Dr=88.9%)
Geotextile :TS 50	0.75	0.67
Geomembrane : 1.5mm.	0.73	0.64
Geonet :DN 400E	0.69	0.62

4.4 ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุจีโอซินเทติกส์

ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของวัสดุจีโอซินเทติกส์ ประกอบไปด้วยวัสดุจีโอเทคไทล์ จีโอเมมเบรน และจีโอเนท โดยแสดงผลการทดสอบ และค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสในการทดสอบวัสดุดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยแรงกดตั้งฉากกับหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของวัสดุจีโอซินเทติกส์

Test	Normal Stress (ksc.)	Maximum Shear Stress (ksc.)		
		Geotextile :TS 50	Geomembrane :1.5 mm.	Geonet :DN 400E
Geotextile :TS 50	0.5	0.18	0.11	0.16
	1	0.37	0.22	0.31
	2	0.72	0.43	0.61
Geomembrane :1.5 mm.	0.5		0.09	0.14
	1		0.19	0.26
	2		0.35	0.52
Geonet :DN 400E	0.5			0.11
	1			0.23
	2			0.46

ตารางที่ 4.6 แสดงค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอซินเทติกส์

Type	Geotextile :TS 50	Geomembrane	Geonet :DN 400E
Geotextile :TS 50	19.8 ^{o}	12.0 ^{o}	16.9 ^{o}
Geomembrane:1.5mm.		9.9 ^{o}	14.3 ^{o}
Geonet :DN 400E			13.1 ^{o}

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนกับค่าหน่วยแรงตั้งฉาก และค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอซินเทติกส์ทั้ง 3 ชนิดคือ จีโอเทคไทลล์ จีโอเมมเบรน และจีโอเนทซึ่งในการทดสอบจะจับคู่ทดสอบระหว่างวัสดุเพื่อพิจารณามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัส และแสดงผลที่ได้จากการทดสอบซึ่งสามารถพิจารณาผลการทดสอบได้ดังนี้

1. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) ด้วยกันเอง จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 19.8 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.18 , 0.37 และ 0.72 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 1-1.1 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.12
2. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) กับวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 12.0 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.11 , 0.22 และ 0.43 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 1-1.2 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.13
3. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) กับวัสดุจีโอเนท (DN 400E) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 16.9 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.16 , 0.31 และ 0.61 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.9-1.1 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.14
4. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) ด้วยกันเอง จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 9.9 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.09, 0.19 และ 0.35 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.7-0.8 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.15

5. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) กับวัสดุจีโอเนท (DN 400E) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 14.3 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.14, 0.26 และ 0.52 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.7-0.9 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.16
6. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเนท (DN 400E) ด้วยกันเอง จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 13.1 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.11 , 0.23 และ 0.46 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.9-1.2 มม. สามารถพิจารณาได้จากรูป 4.17

จากการทดสอบค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสวัสดุจีโอเทคไทลล์ด้วยกันเองจะมีค่า 19.8 ^{o} ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของบริษัท โพลีเฟลล์ จำกัด ได้ทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 18.00 ^{o} โดยค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่ทดสอบได้คลาดเคลื่อนไป 10.00 % เนื่องจากมิติของกล่องทดสอบแรงเฉือนที่ทำการทดสอบมีขนาด 10X10 ซม. แต่ในการทดสอบของทางบริษัท โพลีเฟลล์ ใช้มิติของกล่องทดสอบแรงเฉือนที่ทำการทดสอบมีขนาด 50X50 ซม. โดยการใช้กล่องทดสอบแรงเฉือนขนาดเล็กการรวบรวมกำลังต้านแรงเฉือนของวัสดุจะเกิดขึ้นรวดเร็วและมีค่าสูง เพราะพื้นที่รับแรงเฉือนมีน้อย ส่วนการใช้กล่องทดสอบแรงเฉือนขนาดใหญ่การรวมรวมกำลังต้านแรงเฉือนของวัสดุจะเกิดขึ้นในอัตราที่ไม่เร็วจึงมีค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสน้อยกว่าการใช้กล่องทดสอบแรงเฉือนขนาดเล็กกว่า

สำหรับการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์กับวัสดุจีโอเมมเบรน มีค่า 12.0 ^{o} ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าของผลการทดสอบของบริษัท วัลวิทเทรดดิ้ง จำกัด ได้ทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 11.0 ^{o} ที่กล่องทดสอบแรงเฉือนขนาดเดียวกันโดยค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่ทดสอบได้คลาดเคลื่อนไป 9.0 % เนื่องจากวัสดุจีโอเทคไทลล์ที่ใช้ทดสอบเป็นคนละชนิดกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

ในการทดสอบวัสดุจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอเนทได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีค่า 14.3 ^{o} ซึ่งเอาไปเปรียบเทียบกับการทดสอบของ Mitchell & Mitchell (1992) ได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัส 12.5 ^{o} โดยค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่ทดสอบได้คลาดเคลื่อนไป 14.4 % เนื่องจากวัสดุจีโอเมมเบรนและวัสดุจีโอเนทที่ใช้ทดสอบเป็นคนละชนิดกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

ในการทดสอบวัสดุจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอเมมเบรนได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีค่า 9.9 ^{o} ซึ่งเอาไปเปรียบเทียบกับการทดสอบของ Negussey et al. (1994) ได้ค่ามุม

เสียดทานที่ผิวสัมผัส 6.5 ^{o}โดยค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสที่ทดสอบได้คลาดเคลื่อนไปเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้การทดสอบเป็นเครื่องมือคนละชนิดกับเครื่องมือที่ใช้ในทดสอบ

สำหรับการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์กับวัสดุจีโอเนท และวัสดุจีโอเนทด้วยกันเองไม่มีผลทดสอบมาเปรียบเทียบเนื่องจากไม่มีผู้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุดังกล่าว

จากการพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอซินเทติกส์ทั้ง 3 ชนิดในทุก ๆ การทดสอบ จะพบว่าค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงตามผิวสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

วัสดุจีโอเทคไทลล์ ด้วยกันเองจะพบว่าค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะมีค่ามากสุด เพราะวัสดุจีโอเทคไทลล์ที่มีลักษณะผิวหยาบและมีลักษณะเป็นขุย ด้วยลักษณะดังกล่าวจะทำให้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมากกว่าวัสดุจีโอเทคไทลล์กับวัสดุจีโอเมมเบรน และวัสดุจีโอเทคไทลล์กับจีโอเนท ตามลำดับ

วัสดุจีโอเมมเบรน ด้วยกันเองจะมีผิวสัมผัสที่ราบเรียบมากกว่า วัสดุจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอเนท จึงทำให้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของจีโอเมมเบรนด้วยกันเอง มีค่าน้อยกว่าค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของวัสดุจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอเนท

จากผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 2.25, 2.26 และ 2.27 พบว่าค่ากำลังเฉือนที่ผิวสัมผัสของวัสดุจีโอเทคไทลล์ด้วยกันเองจะมีค่าสูงสุด และมีค่ากำลังเฉือนที่ผิวสัมผัสน้อยสุดที่การทดสอบระหว่างจีโอเมมเบรนด้วยกันเอง

ผลจากการใช้วัสดุจีโอซินเทติกส์ที่แตกต่างกันในการทดสอบทั้ง 3 ชนิดพบว่า ค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอซินเทติกส์จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสเป็นหลัก โดยจากการทดสอบจะพบว่าค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะมีค่ามากขึ้นเมื่อผิวสัมผัสมีความหยาบขึ้น และจะมีค่าน้อยลงเมื่อผิวสัมผัสมีความราบเรียบขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วดังที่แสดงในตารางที่ 4.6

4.5 ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอเทคไทล์ที่มีความหนาของวัสดุต่างกันกับวัสดุจีโอซินเทติกส์ชนิดต่าง ๆ

ผลการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของวัสดุจีโอเทคไทล์ 2 ขนาดความหนาคือ 1.9 (TS50) และ 3.2 มิลลิเมตร (TS80) กับวัสดุจีโอซินเทติกส์เพื่อศึกษาผลการทดสอบและค่าของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสซึ่งแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยแรงกดตั้งฉากกับหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของวัสดุจีโอเทคไทลล์ที่มีความหนา 1.9 และ 3.2 มิลลิเมตร

Test	Normal Stress (ksc.)	Maximum Shear Stress (ksc.)	
		TS 50	TS 80
Geotextile :TS 50	0.5	0.18	
	1	0.37	
	2	0.79	
Geotextile :TS 80	0.5		0.18
	1		0.37
	2		0.74
Geomembrane :1.5 mm.	0.5	0.11	0.11
	1	0.22	0.22
	2	0.43	0.42
Geonet (DN 400E)	0.5	0.16	0.16
	1	0.31	0.33
	2	0.61	0.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ามุมเสียดทานระหว่างวัสดุจีโอเทคไทล์ที่หนาต่างกันกับวัสดุจีโอซินเทติกส์

Type	Geotextile :TS 50	Geotextile :TS 80
Geotextile :TS 50	19.8 ^{o}	
Geotextile :TS 80		20.3 ^{o}
Geomembrane :1.5 mm.	12.0 ^{o}	11.9 ^{o}
Geonet :DN 400E	16.9 ^{o}	17.1 ^{o}

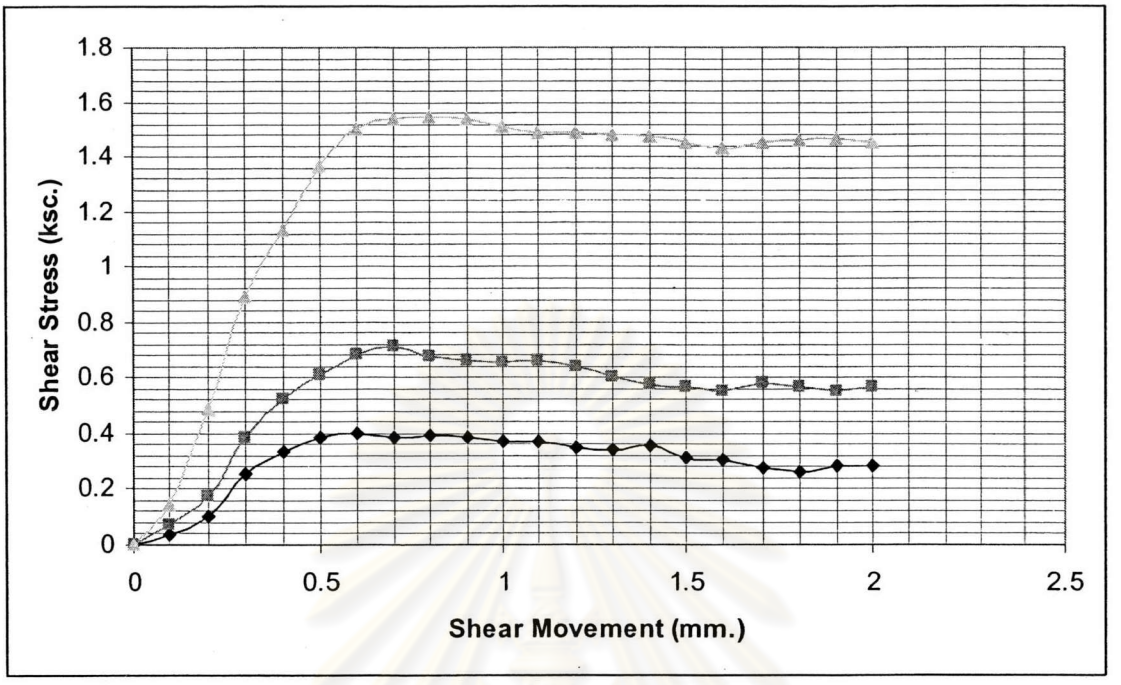
จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนกับค่าหน่วยแรงตั้งฉาก และค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ทั้ง 2 ชนิดกับวัสดุจีโอซินเทติกส์ชนิดต่างๆ คือ จีโอเทคไทลล์(ในกรณีทดสอบ TS 50 ให้จับคู่ทดสอบกับ TS 50 และ TS 80 จับคู่ทดสอบกับ TS 80) จีโอเมมเบรน และจีโอเนทซึ่งในการทดสอบจะจับคู่ทดสอบระหว่างวัสดุเพื่อพิจารณามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัส และแสดงผลที่ได้จากการทดสอบซึ่งสามารถพิจารณาผลการทดสอบได้ดังนี้

1. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม. (TS 80) ด้วยกันเอง จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 20.3 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.18, 0.37 และ 0.74 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.9-1.1 มม. โดยจะสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.19
2. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม. (TS 80) กับวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 11.9 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5,1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.11, 0.22 และ 0.42 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 0.9-1.0 มม. โดยจะสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.20
3. กรณีทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม. (TS 80) กับวัสดุจีโอเนท (DN 400E) จะได้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 17.1 ^{o} กำลังรับแรงเฉือนที่ 0.5, 1 และ 2 ksc. เท่ากับ 0.16, 0.33 และ 0.62 ksc. โดยค่าแรงเฉือนสูงสุดมีระยะการเฉือนประมาณ 1.0-1.1 มม. โดยจะสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.21

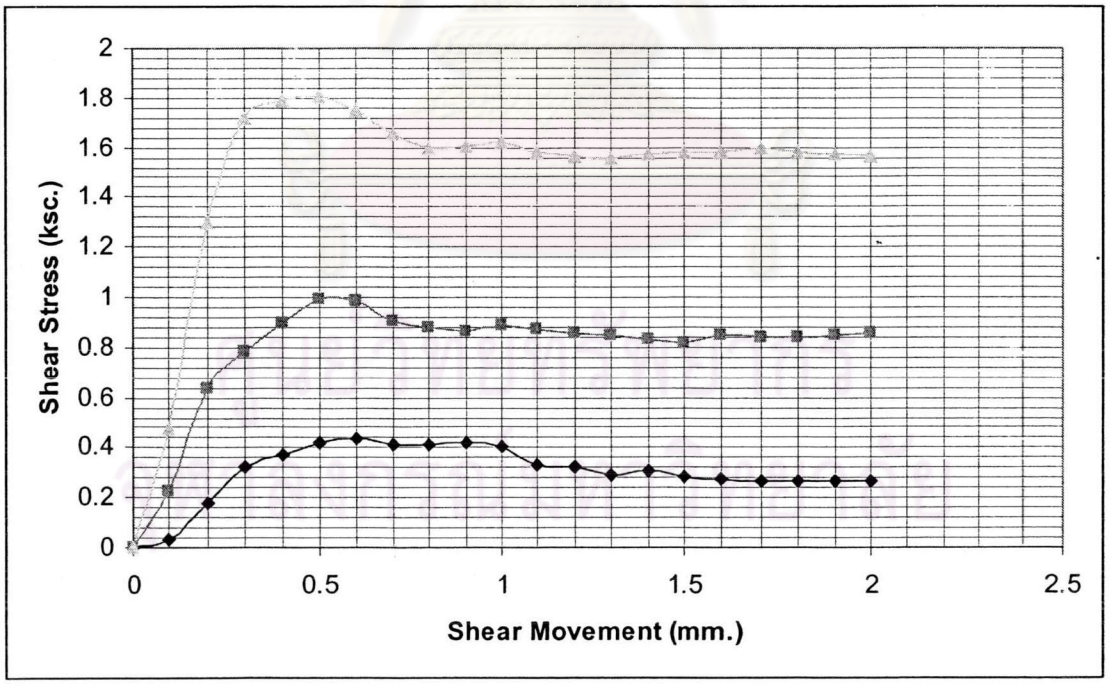
จากการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม.(TS 80) ด้วยกันเองนำไปเปรียบเทียบการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) ด้วยกันเอง และการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม. (TS 80) กับวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) เปรียบเทียบการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) กับวัสดุจีโอเมมเบรน (1.5 มม.) รวมถึงการทดสอบจีโอเทคไทลล์ 3.2 มม. (TS 80) กับวัสดุจีโอเนท (DN 400E)เปรียบเทียบการทดสอบวัสดุจีโอเทคไทลล์ 1.9 มม. (TS 50) กับวัสดุจีโอเนท (DN 400E) จากรูป 4.28, 4.29 และ 4.30 จะพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าผลต่างของมุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสของทุก ๆ ผลการทดสอบได้เท่ากับ 0.5 ^{o},0.07 ^{o} และ 0.22 ^{o} ตามลำดับ จะพบว่า ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสในกรณีแปรเปลี่ยนความหนาของวัสดุจีโอเทคไทลล์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีแปรเปลี่ยนความหนาแน่นของทรายหยาบในการทดสอบ ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงว่าความหนาของแผ่นวัสดุจีโอเทคไทลล์ไม่มีอิทธิพลกับค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัส

โดยค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะขึ้นกับลักษณะผิวสัมผัสของวัสดุ ซึ่งจะมีค่ามากขึ้นตามความหยาบของผิวสัมผัสถ้าผิวสัมผัสมีความหยาบมากจะทำให้ค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tien, Ming-hua (1994) ซึ่งกล่าวว่าค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผิวสัมผัสของวัสดุจีโอเทคไทลล์ให้มีความหยาบเพิ่มขึ้นโดยที่ความหนาของวัสดุทดสอบมีผลกระทบต่อค่ามุมเสียดทานที่ผิวสัมผัสมีค่าน้อยมาก

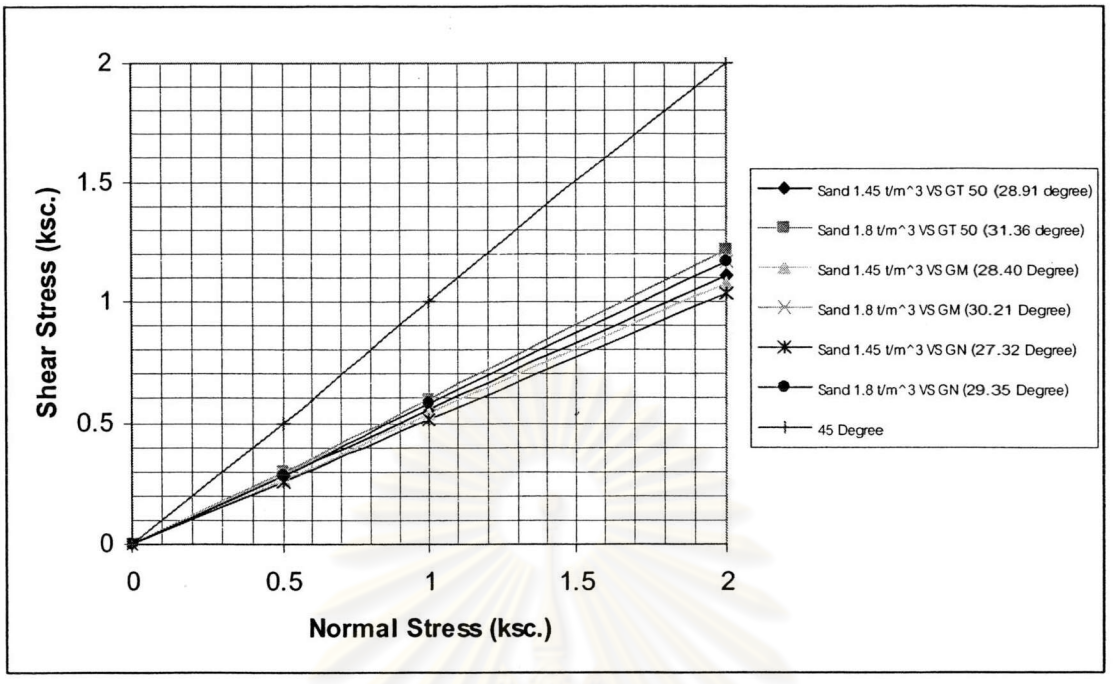
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



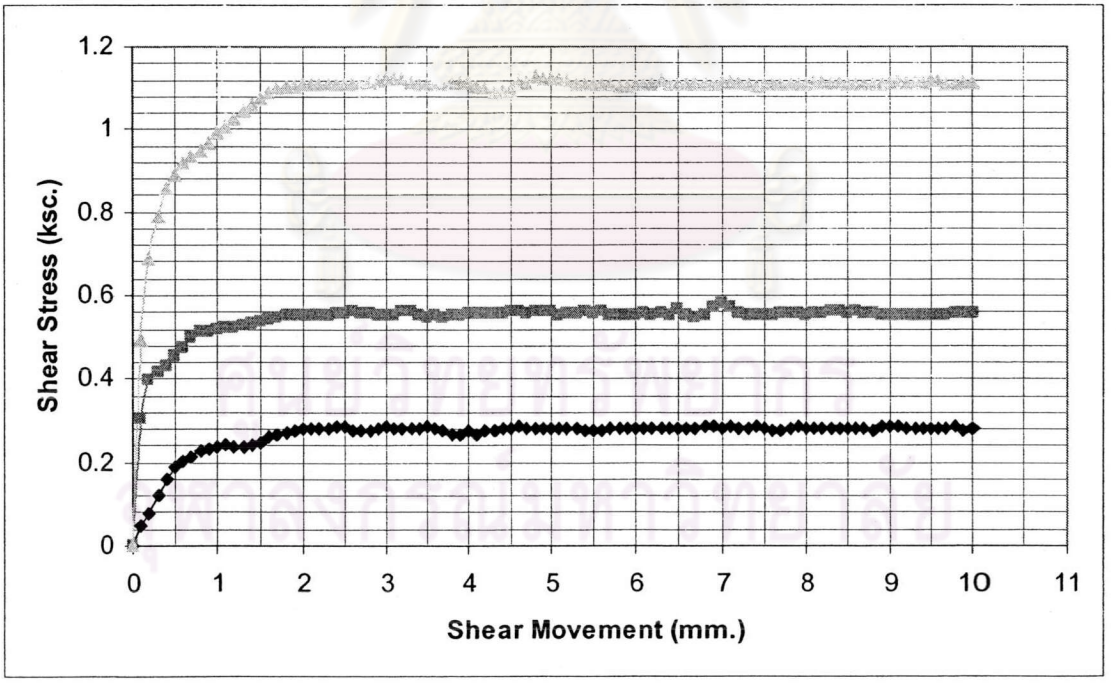
รูปที่ 4.2 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบความหนาแน่น 1.45 t/m^3



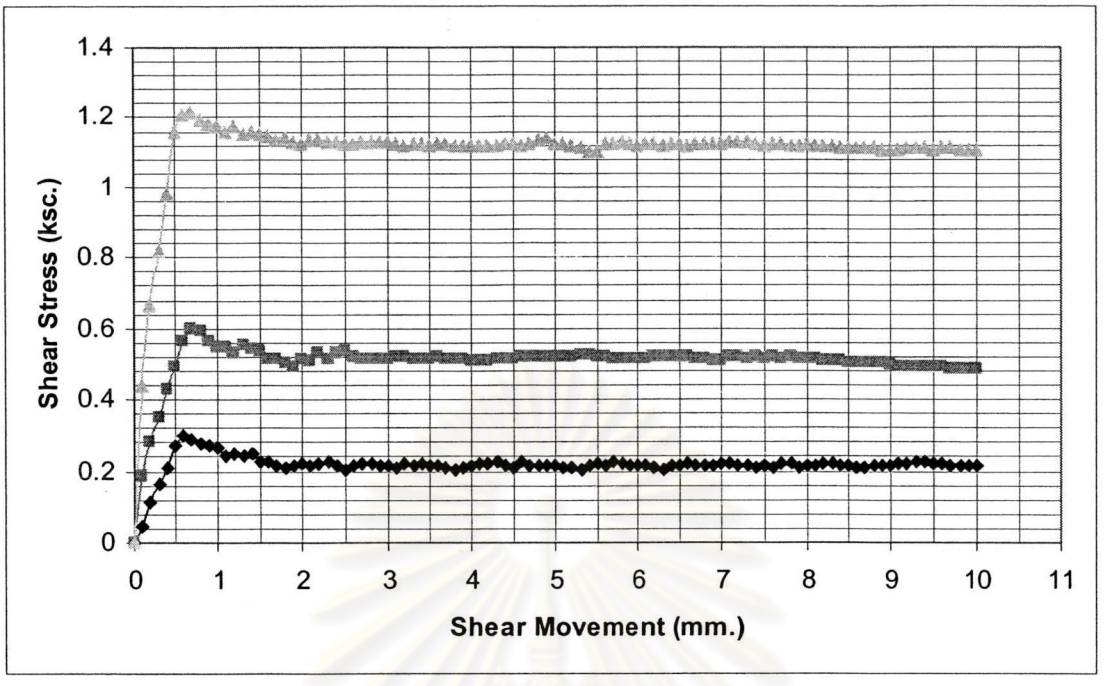
รูปที่ 4.3 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบความหนาแน่น 1.80 t/m^3



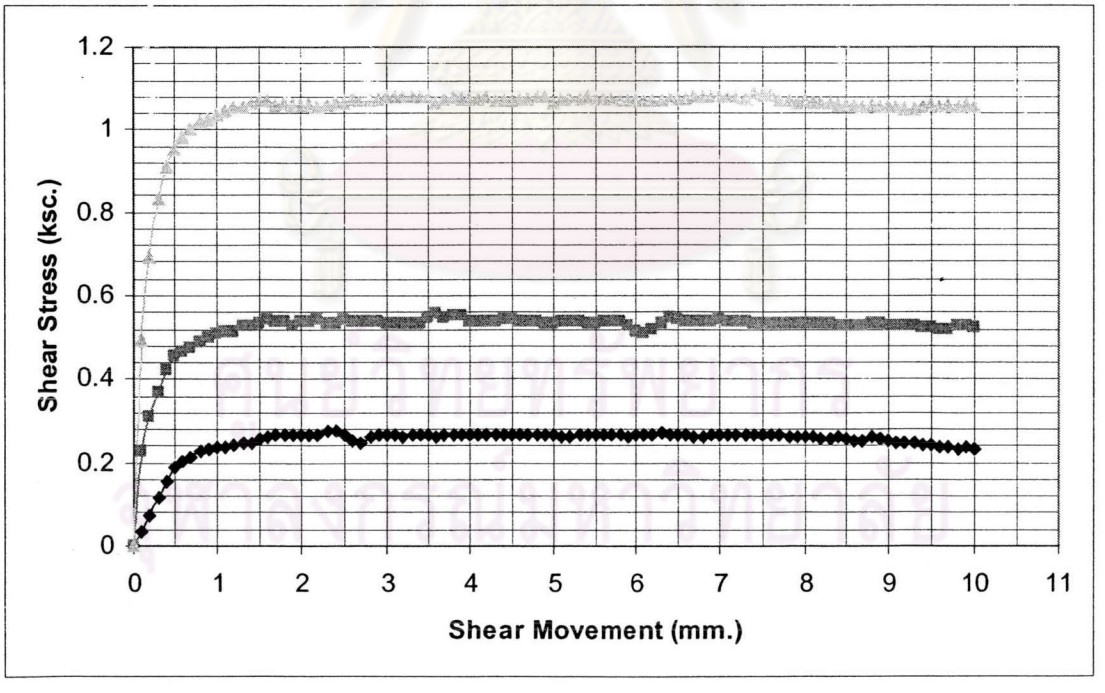
รูปที่ 4.4 หน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงตั้งฉากของทรายกับวัสดุจีโอซินเทติกส์



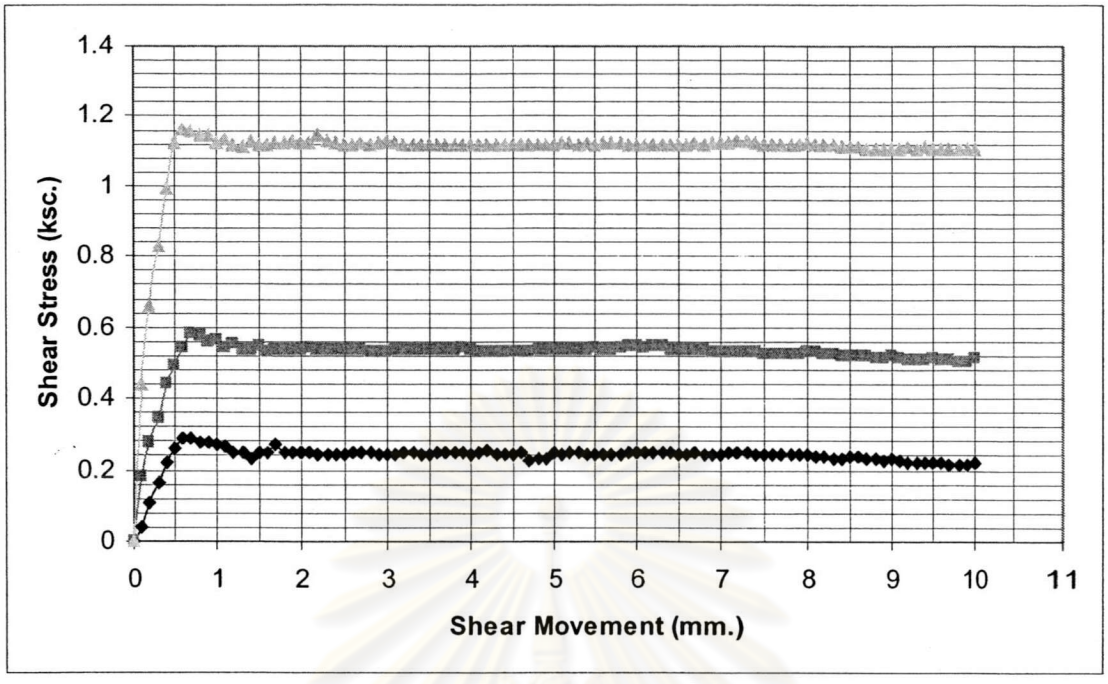
รูปที่ 4.5 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่1.45 t/m^{3}กับจีโอเทคไทลล์ TS 50



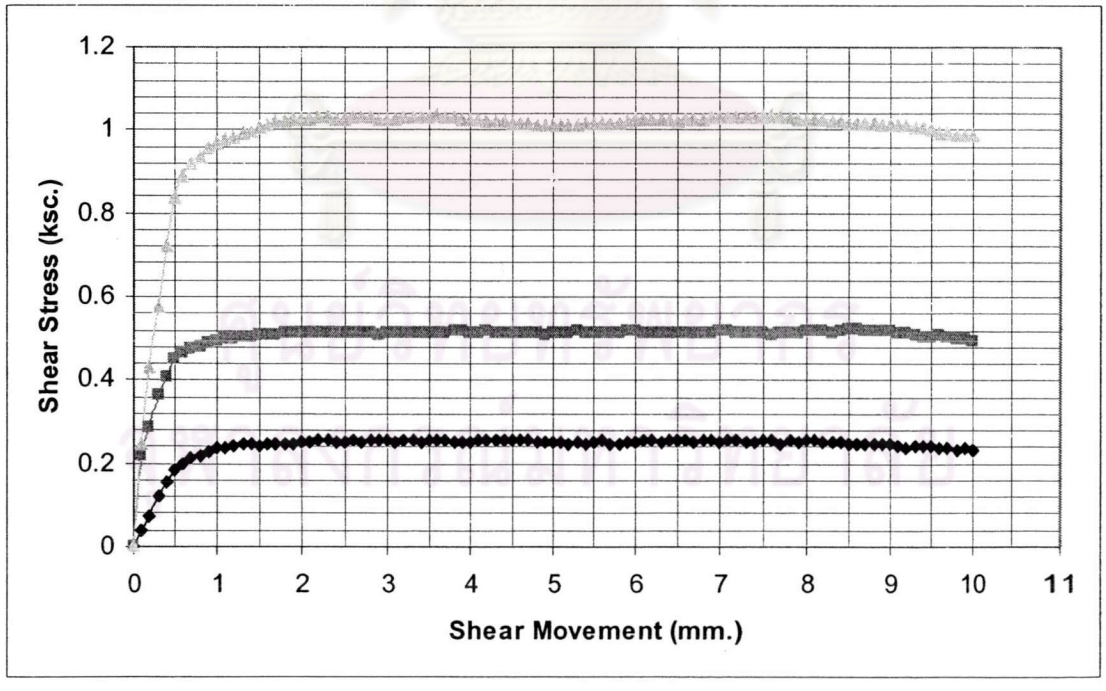
รูปที่ 4.6 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่1.8 t/m^3 กับจีโอเทคไทลล์ TS 50



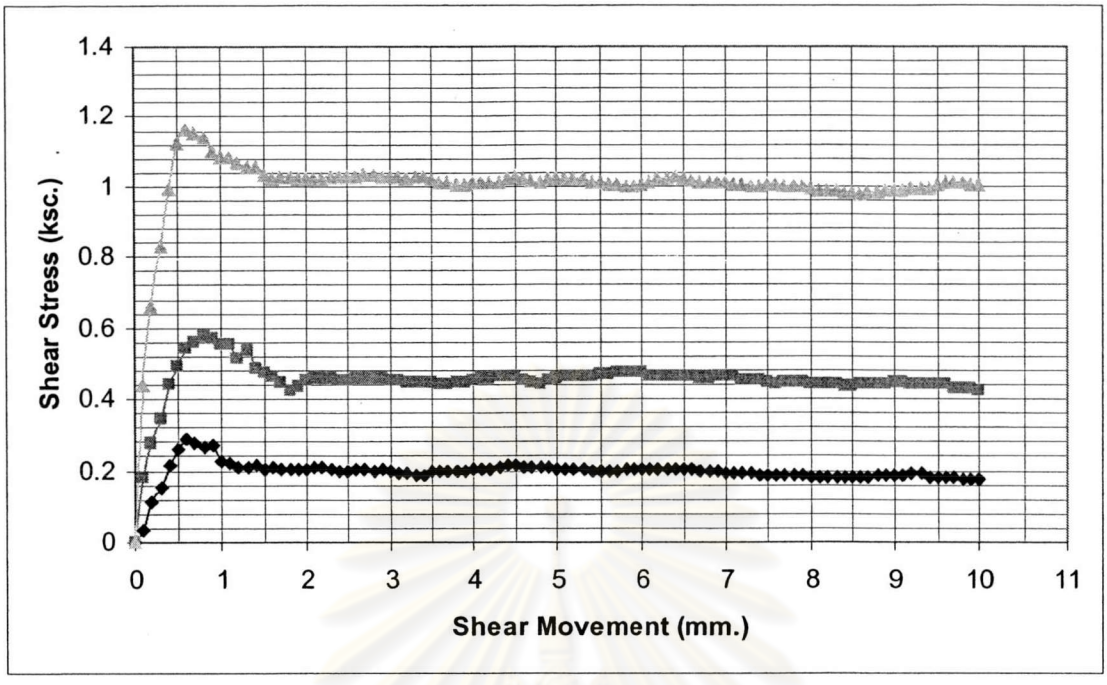
รูปที่ 4.7 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่ 1.45 t/m^3 กับวัสดุจีโอเนท



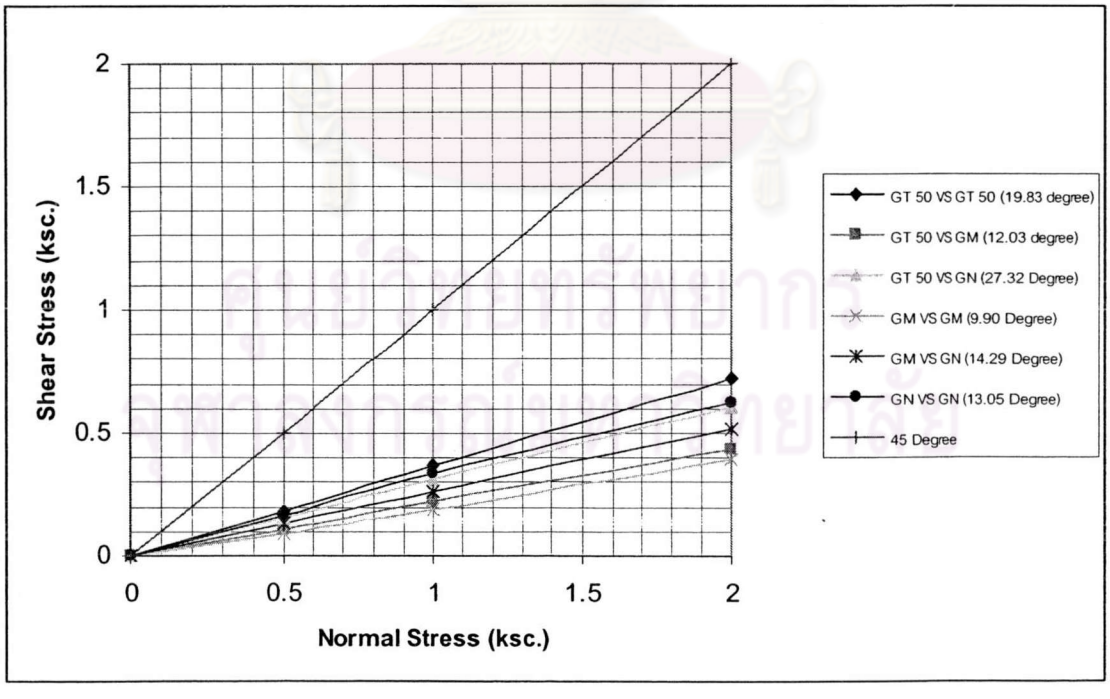
รูปที่ 4.8 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่ 1.80 t/m^3 กับวัสดุจีโอเมมเบรน



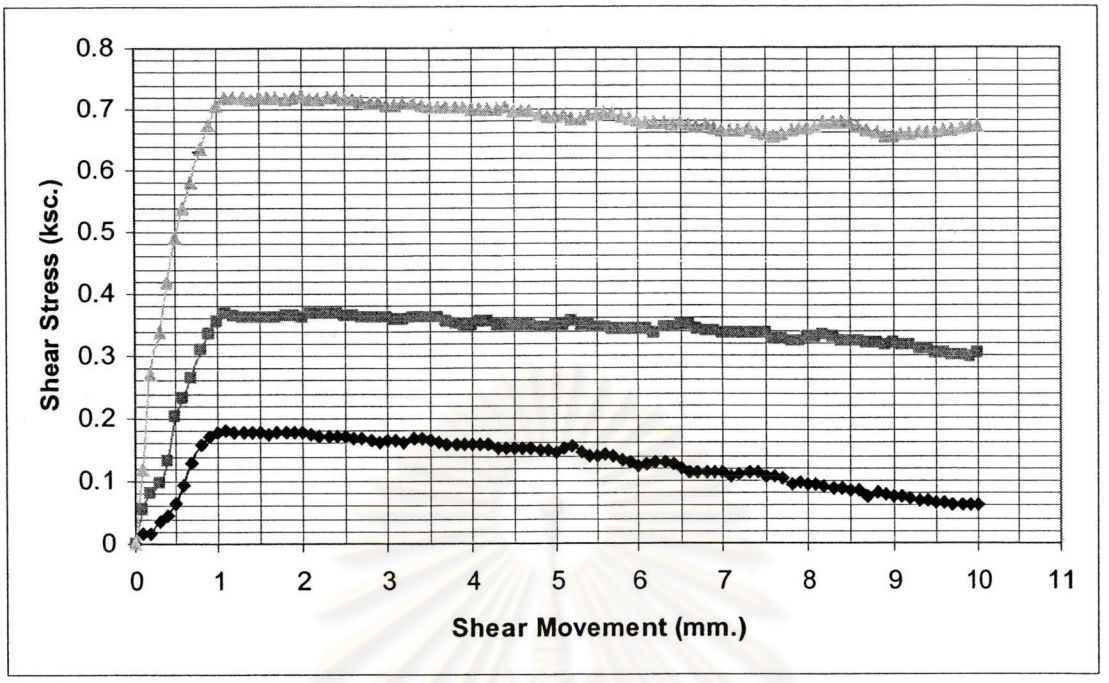
รูปที่ 4.9 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่ 1.45 t/m^3 กับวัสดุจีโอเนท



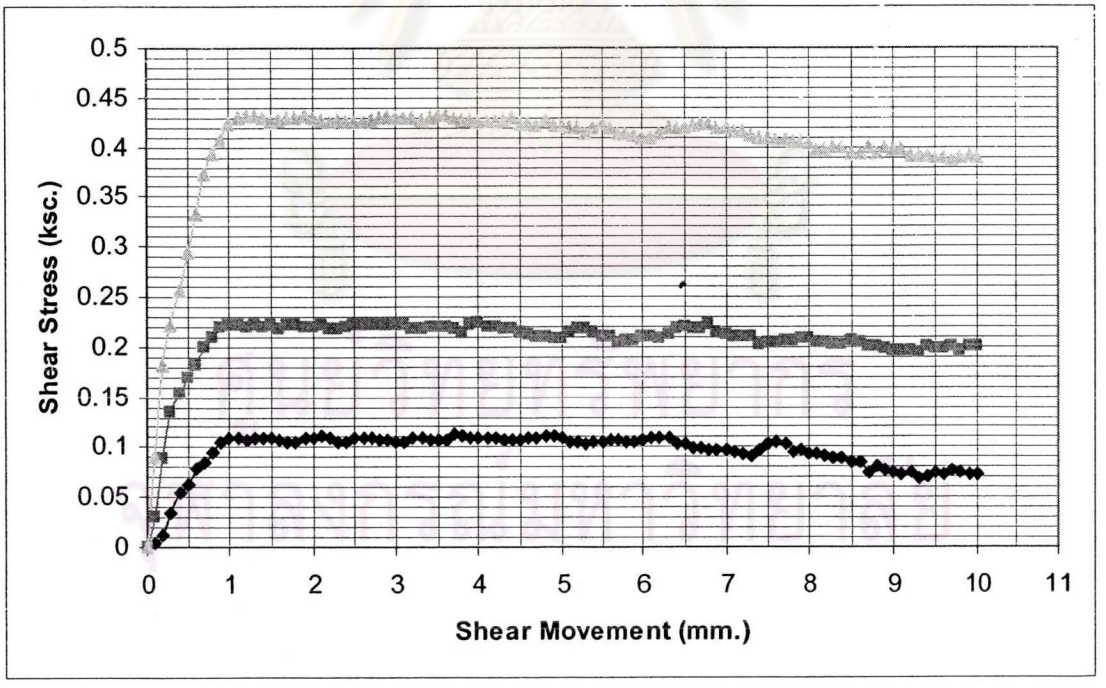
รูปที่ 4.10 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบที่ 1.80 t/m^3 กับวัสดุจีโอเนท



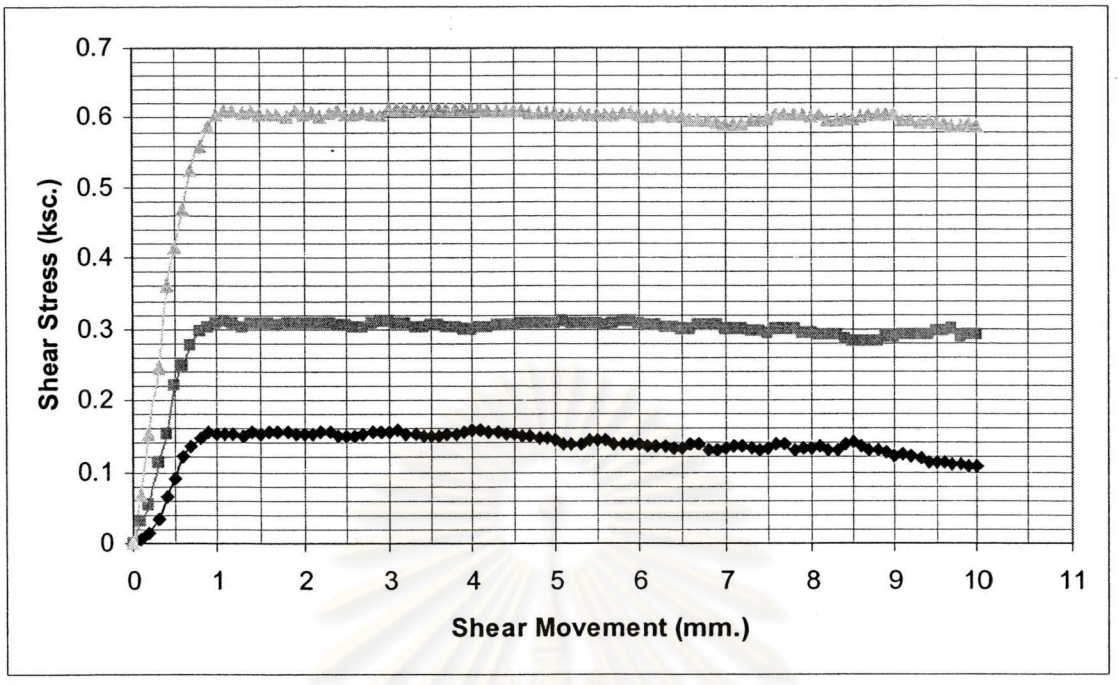
รูปที่ 4.11 หน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงตั้งฉากของวัสดุจีโอซินเทติกส์



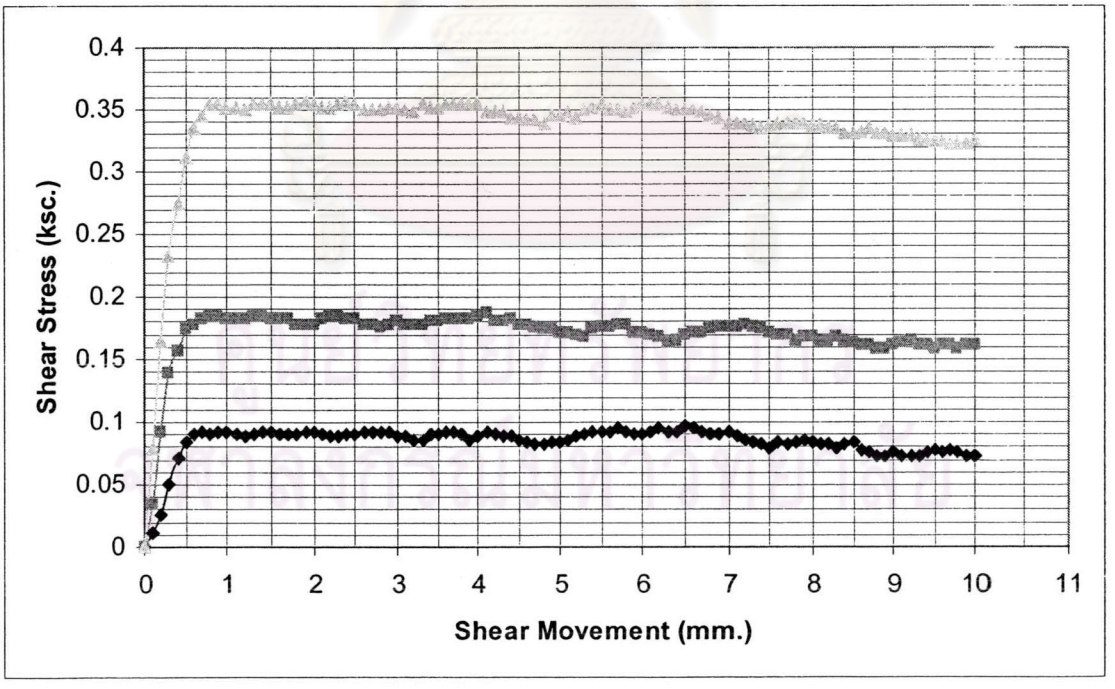
รูปที่ 4.12 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 50) ด้วยกันเอง



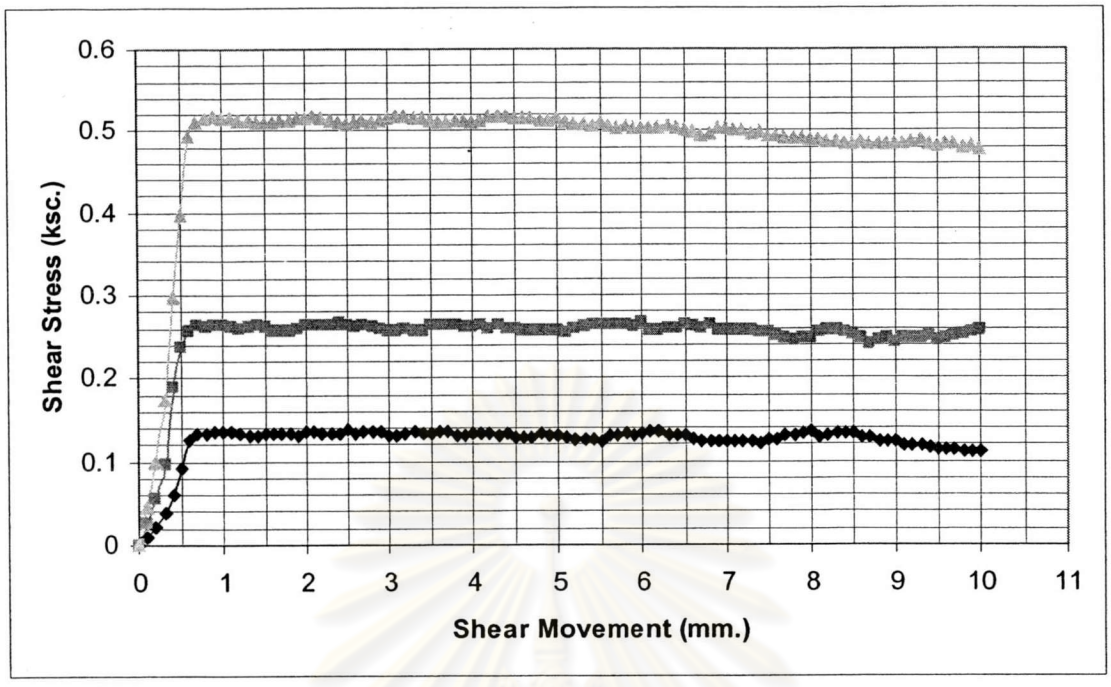
รูปที่ 4.13 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 50) กับจีโอเมมเบรน



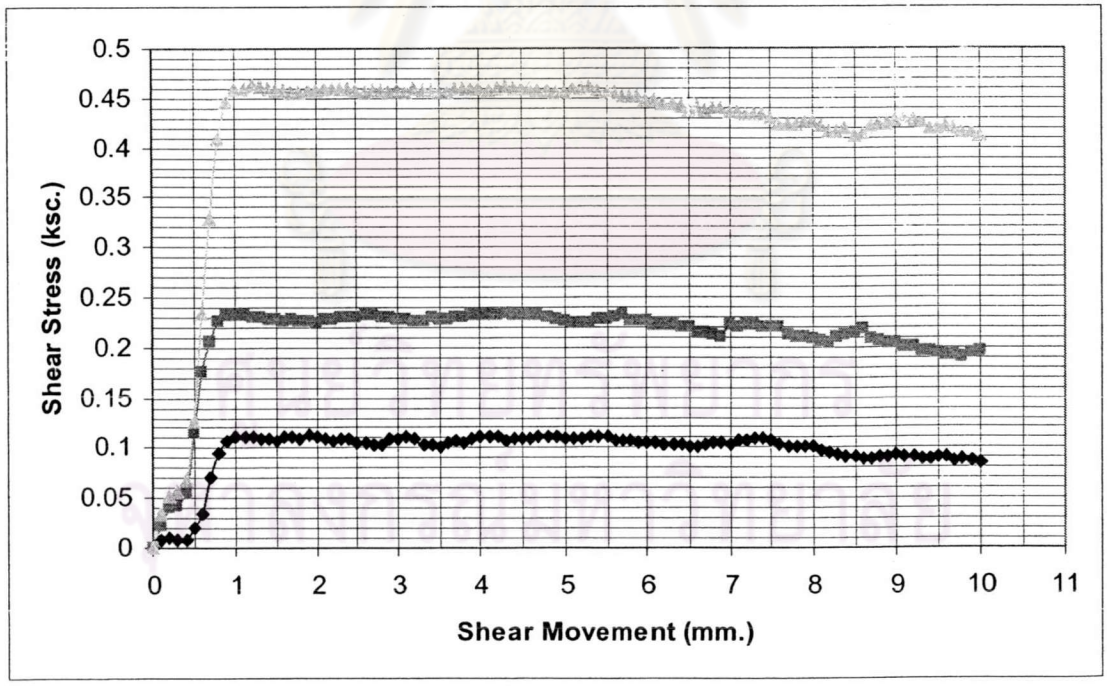
รูปที่ 4.14 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 50) กับจีโอเนท



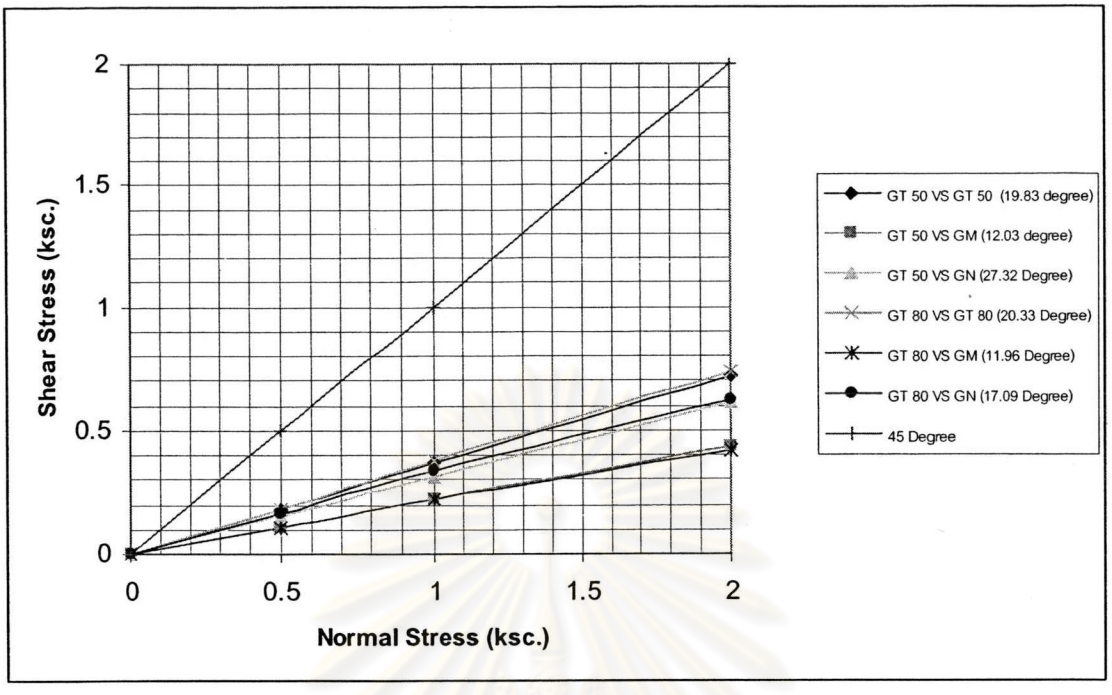
รูปที่ 4.15 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเมมเบรนด้วยกันเอง



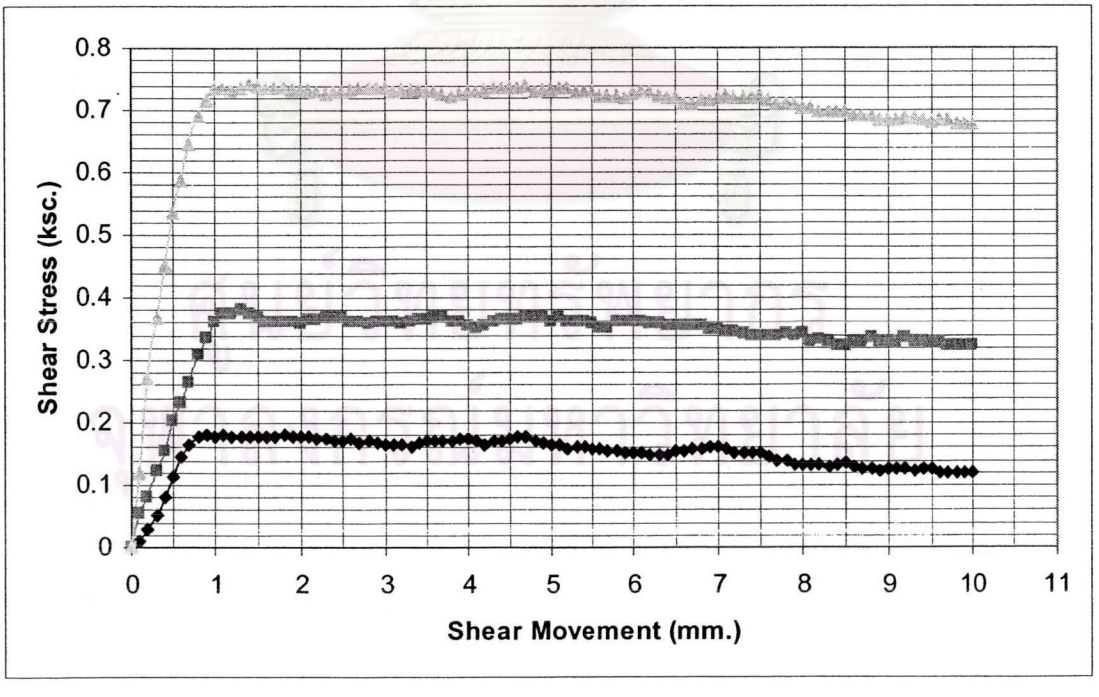
รูปที่ 4.16 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอเนท



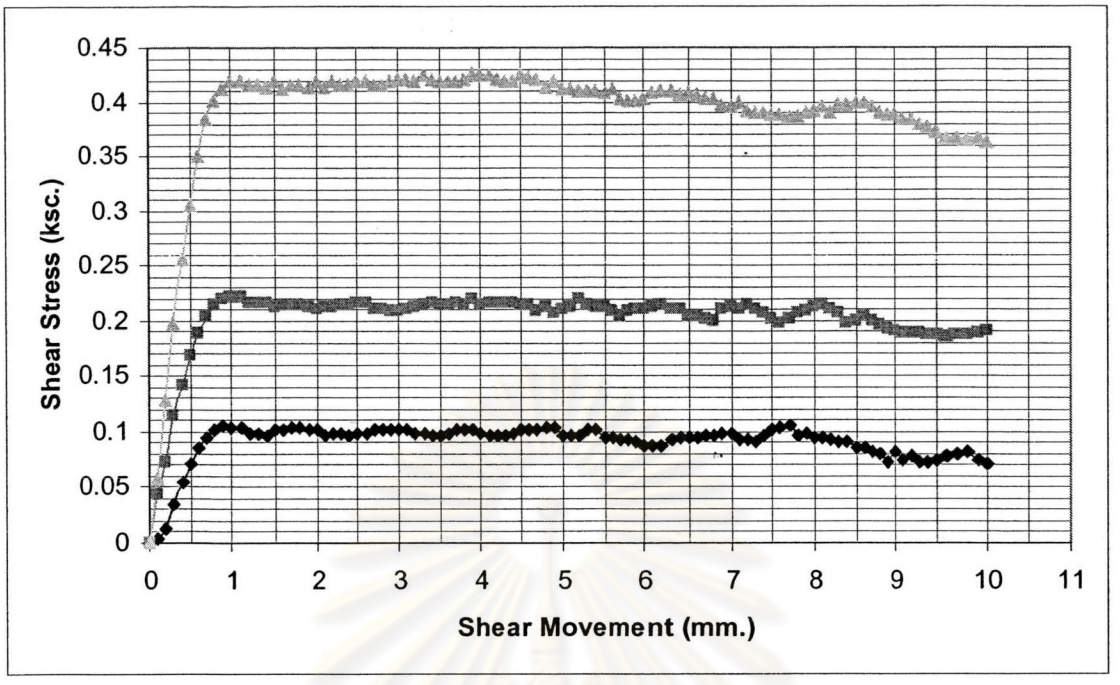
รูปที่ 4.17 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุวัสดุจีโอเนทด้วยกันเอง



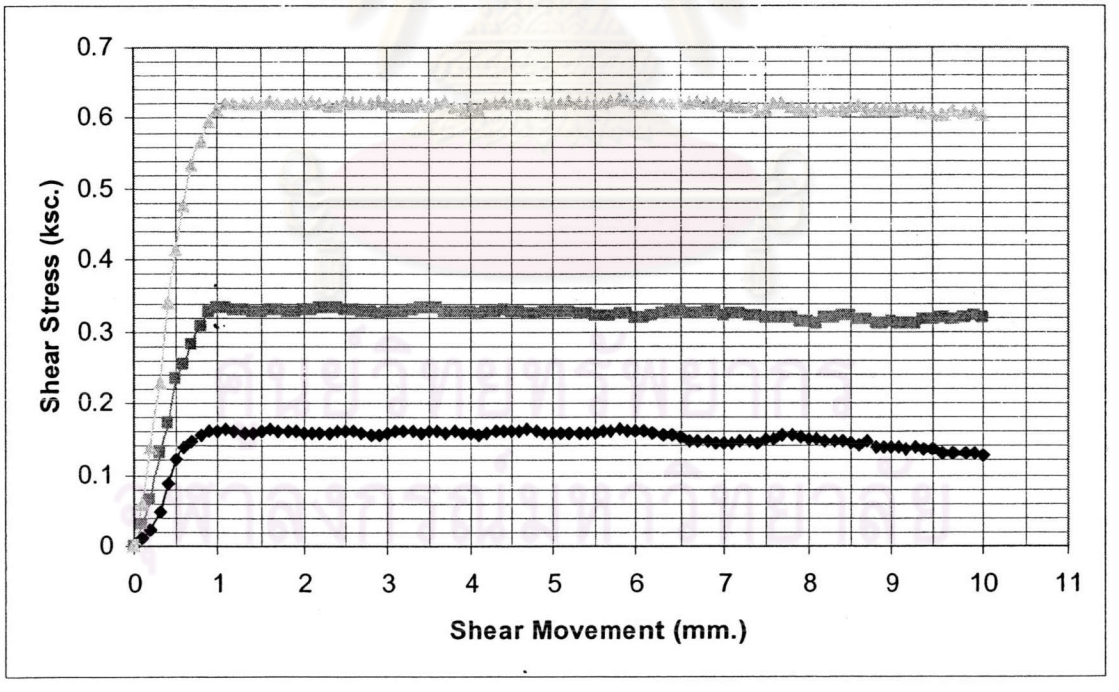
รูปที่ 4.18 หน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงตั้งฉากของวัสดุจีโอเทคไทลล์ทั้ง 2 ชนิดกับจีโอซินเทติกส์



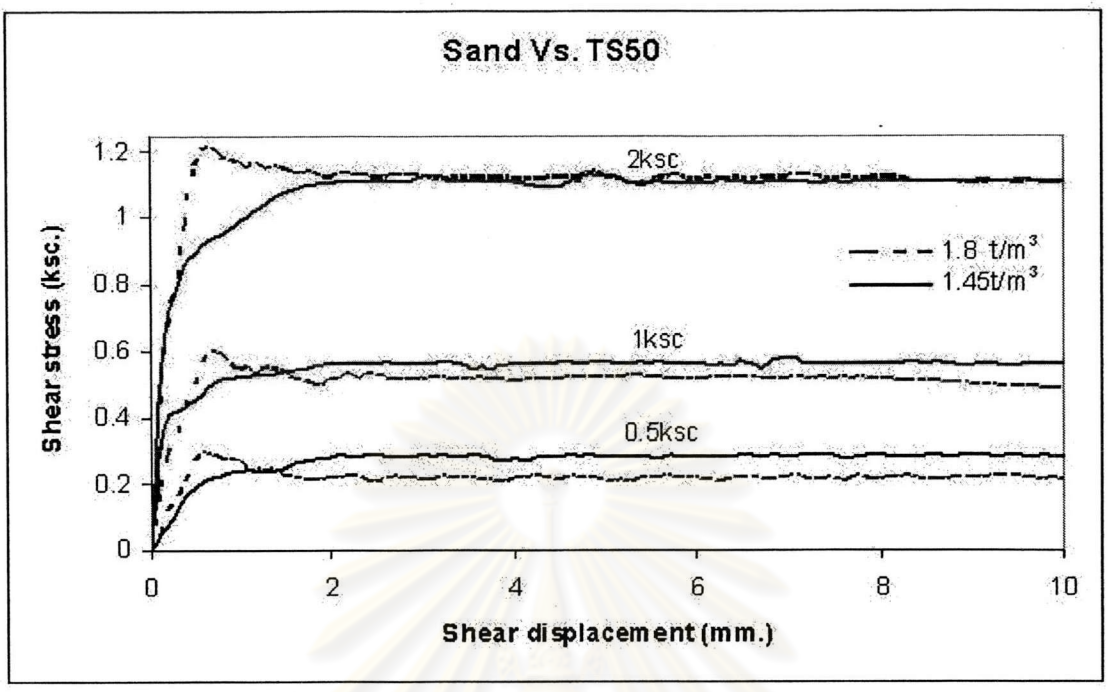
รูปที่ 4.19 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 80) ด้วยกันเอง



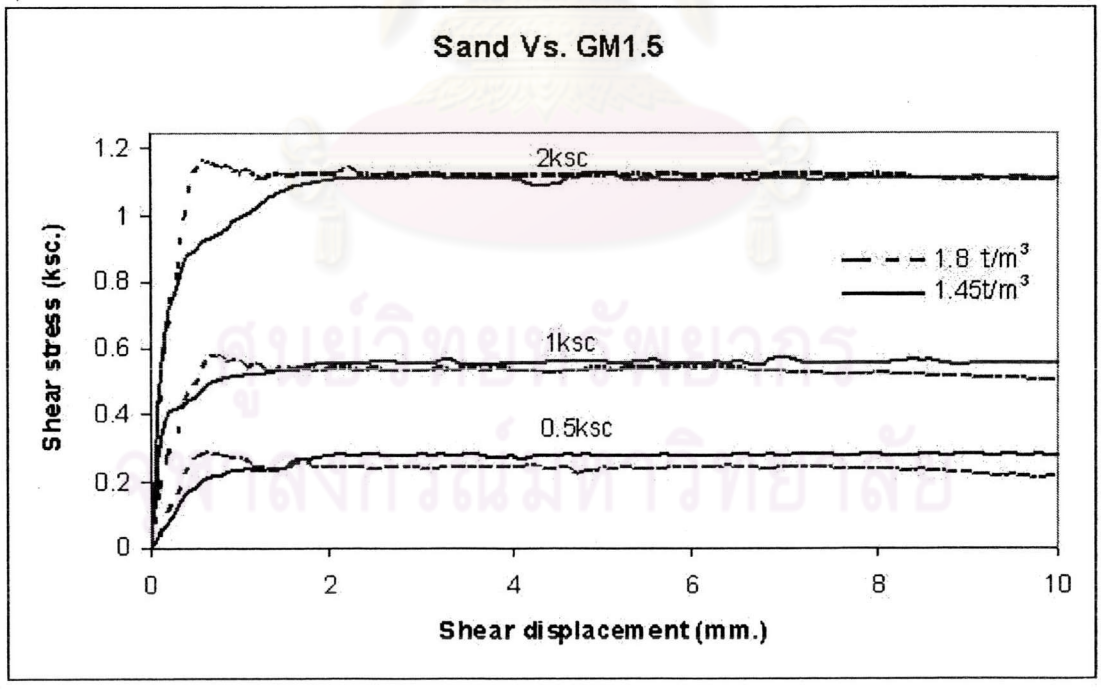
รูปที่ 4.20 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 80) กับจีโอเมมเบรน



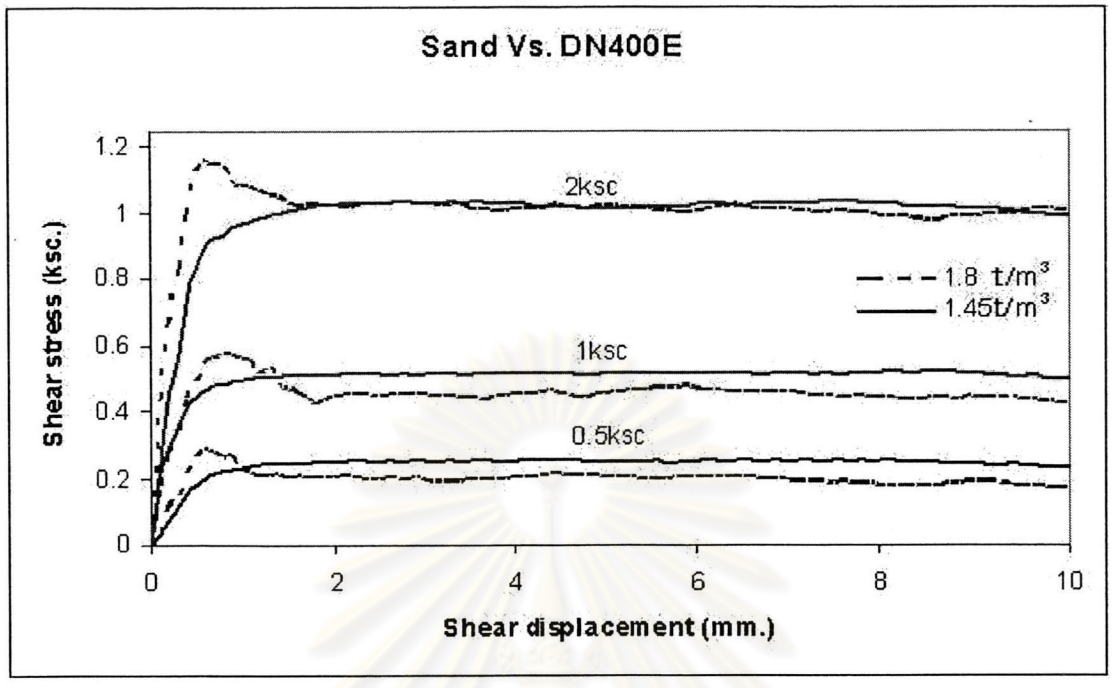
รูปที่ 4.21 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างวัสดุจีโอเทคไทลล์ (TS 80) กับวัสดุจีโอเนท



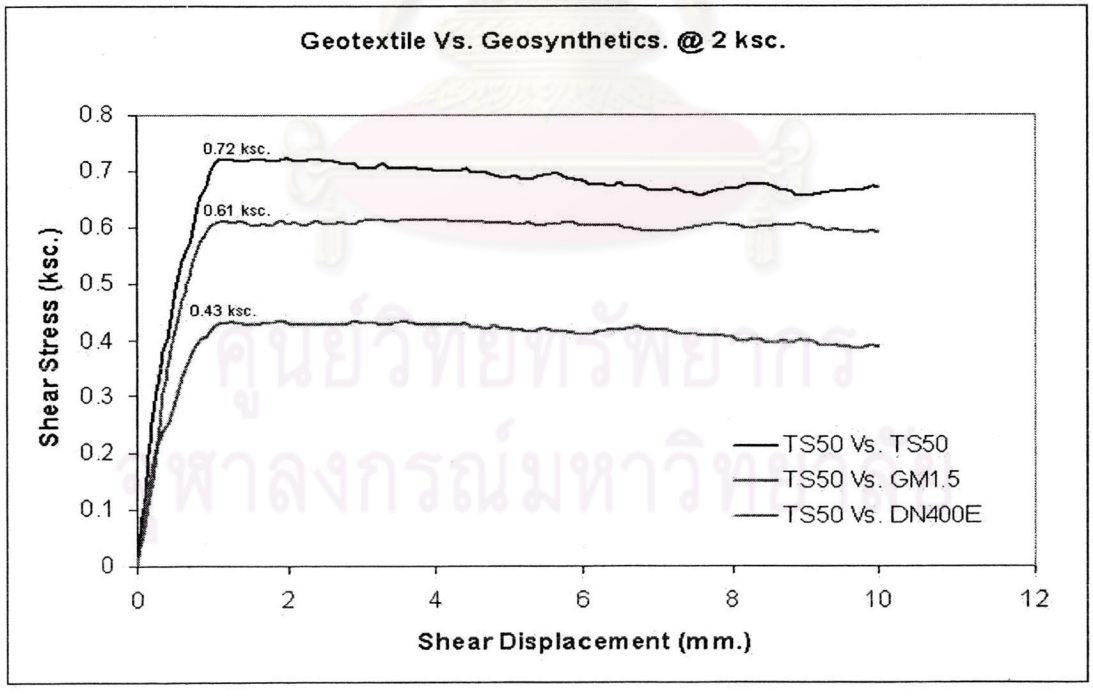
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบกับวัสดุจีโอเทคไทลล์



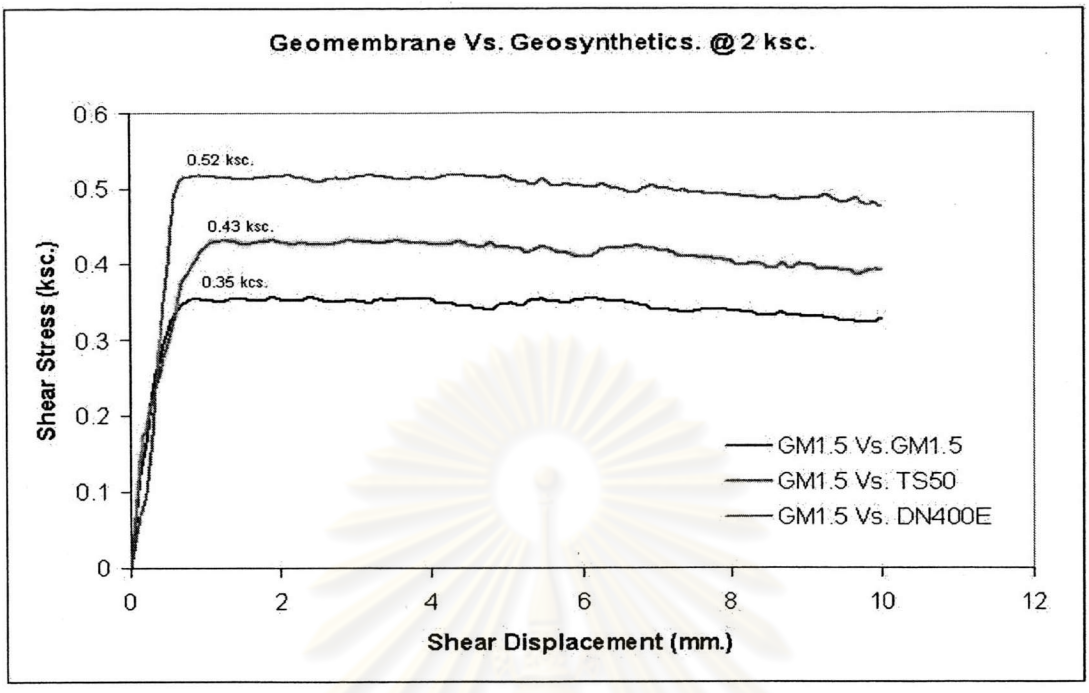
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบกับวัสดุจีโอเมมเบรน



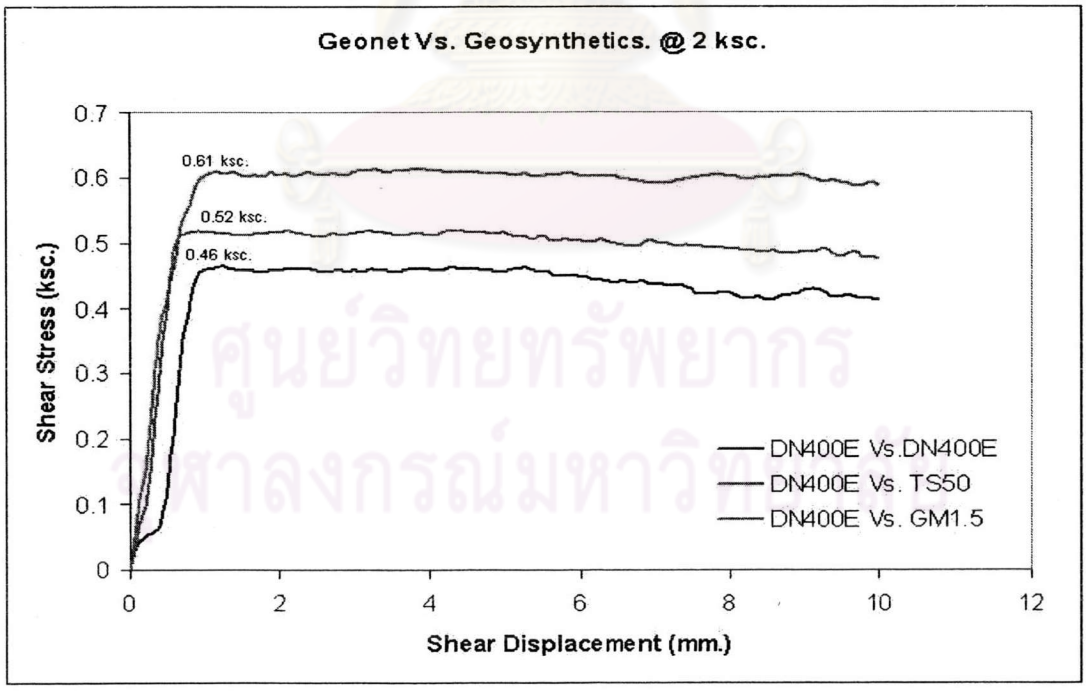
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างทรายหยาบกับวัสดุจีโอเนท



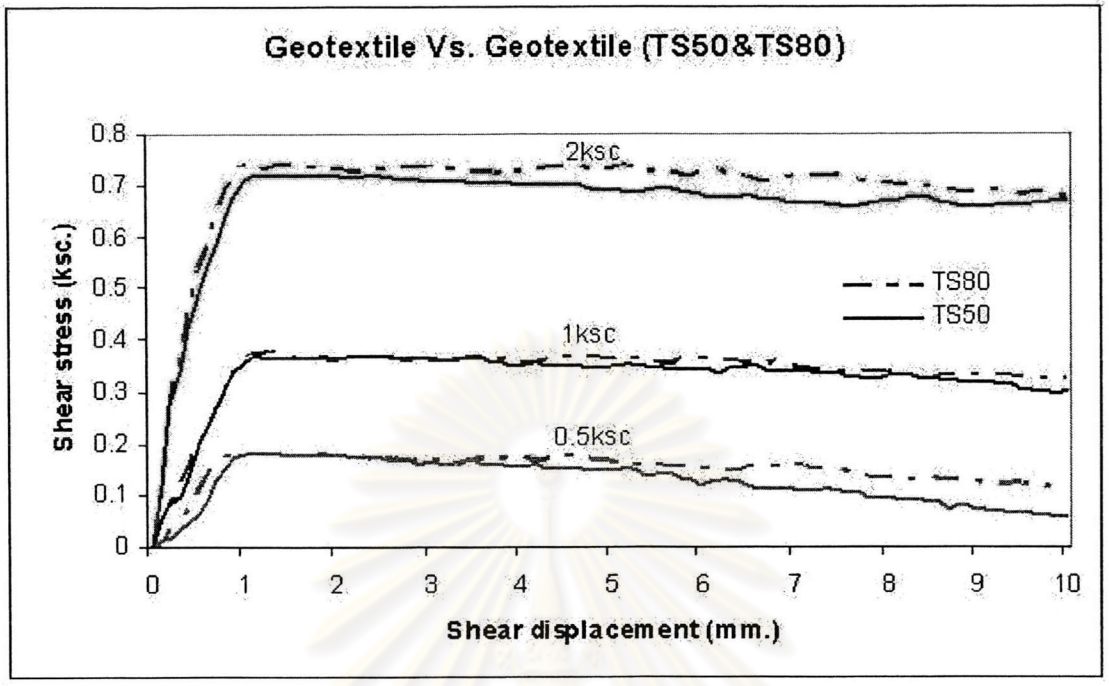
รูปที่ 4.25 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างจีโอเทคไทลล์กับวัสดุจีโอซินเทติกส์



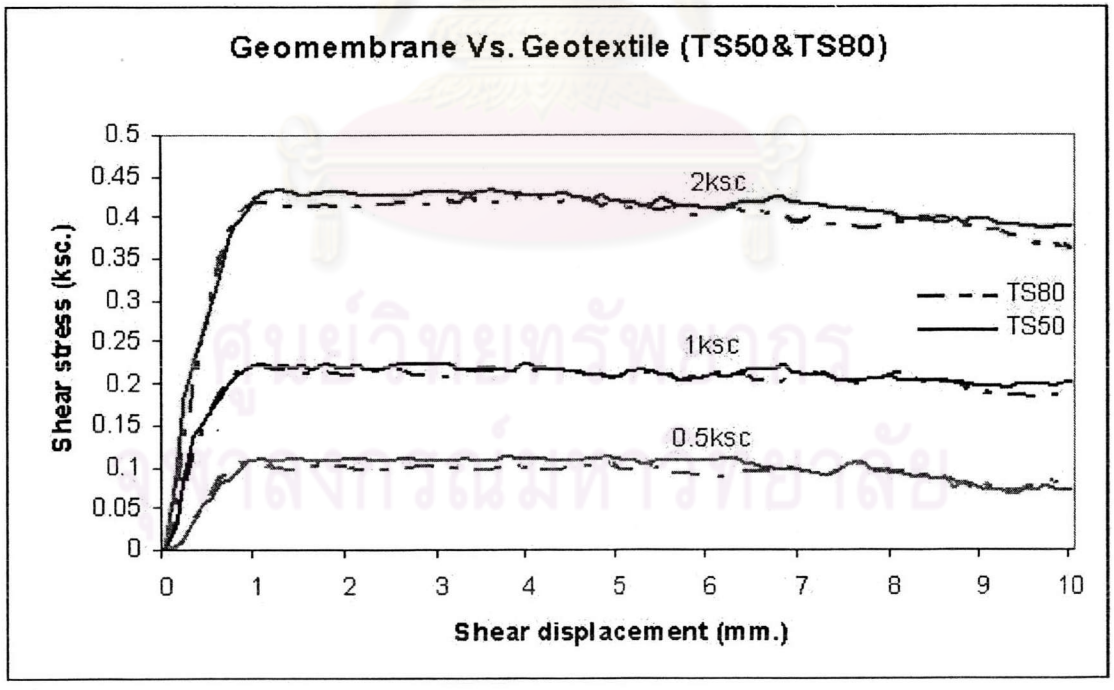
รูปที่ 4.26 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างจีโอเมมเบรนกับวัสดุจีโอซินเทติกส์



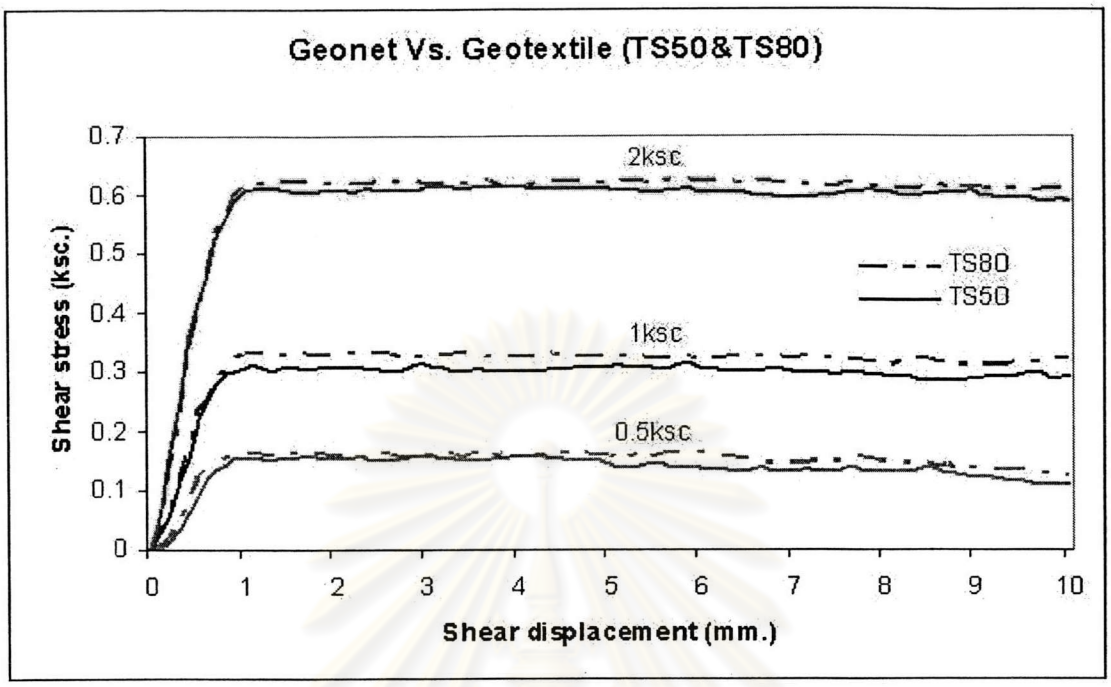
รูปที่ 4.27 หน่วยแรงเฉือนกับระยะการเฉือนระหว่างจีโอเนทกับวัสดุจีโอซินเทติกส์



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนระหว่างจีโอเทคไทลล์หนาต่างกันกับวัสดุจีโอเทคไทลล์



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนระหว่างจีโอเทคไทลล์หนาต่างกันกับวัสดุจีโอเมมเบรน



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบหน่วยแรงเฉือนระหว่างจีโอเทคไทลล์หนาต่างกันกับวัสดุจีโอเนท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย